

甘肃省瓜州县某磁铁矿工艺矿物学研究

司豪佳, 陈百磊, 刘甲成, 李文轩

(甘肃省地质调查院, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 甘肃省瓜州县某磁铁矿矿石类型为蚀变辉长岩型铁矿, 通过化学多项分析、X 荧光光谱分析、物相分析、显微镜下鉴定及粒度测定等手段进行了化学和矿物特性研究, 并进行了选矿实验, 对该矿进行了系统的工艺矿物学研究, 查明了其矿物组成及含量、矿物嵌布特征、铁的赋存状态等。矿石物质成分研究表明, 该磁铁矿矿石主要是方解石绿泥石蚀变辉长岩, 次为方解石阳起石蚀变辉长岩, 矿石中主要有用矿物磁铁矿、赤铁矿, 少量蚀变黄铁矿、钛磁铁矿, 磁铁矿粒度以细粒为主; 脉石矿物广泛存在且种类复杂, 主要为绿泥石、方解石、石英、阳起石、斜长石, 次为角闪石、辉石等。本文进行了选矿实验, 以证实工艺矿物学研究结果, 本研究为该区铁矿评价以及资源综合利用提供了重要参考依据。

关键词: 工艺矿物学; 磁铁矿; 赋存状态

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2025.02.028

中图分类号: TD95 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2025)02-0196-05

引用格式: 司豪佳, 陈百磊, 刘甲成, 等. 甘肃省瓜州县某磁铁矿工艺矿物学研究[J]. 矿产综合利用, 2025, 46(2): 196-200.

SI Haojia, CHEN Bailei, LIU Jiacheng, et al. Application of process minerals research on a magnetite ore in guazhou county, gansu province[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2025, 46(2): 196-200.

铁是世界上发现最早, 利用最广, 用量也是最多的一种金属, 其消耗量约占金属总消耗量的 95%。我国铁矿资源丰富, 就其储量而言仅次于俄罗斯、加拿大、澳大利亚和巴西等国家。我国铁矿分布遍及全国, 但又成群、成带产出, 具有相对集中的特点, 且铁矿贫矿多、富矿少、矿床类型多^[1], 大部分铁矿资源属于含铁品位较低、杂质含量高、嵌布粒度细的赤铁矿石类型^[2-4]。各国磁铁矿资源由于矿石特性各异, 其开发利用侧重面也不同^[5-8]。我国的铁矿石类型复杂, 氧化矿、多金属共伴生矿多, 难选矿多, 而国外许多大型矿床均为赤铁富矿、铁品位高、造渣组分低; 国外铁矿资源具有富矿比例大、品质优良、分布集中的明显优势。

我国磁铁矿分布广泛, 储量丰富, 在我国矿产资源开发利用及国民经济发展战略中具有极大意义, 属关系国计民生发展的重大战略资源。本

文矿样采自甘肃省瓜州县古堡泉西磁铁矿矿床^[9], 为进一步研究该矿床的经济意义, 对其化学特性及矿物特性进行了研究, 为进一步利用该类资源提供依据。

1 矿石化学特性

该磁铁矿石大部分为灰黑色, 矿石表面已经不同程度的风化、蚀变。为了查明原矿中所含元素种类, 对原矿进行了原矿多元素分析, 结果见表 1, 铁物相分析见表 2。

表 1 原矿化学多元素分析结果/%
Table 1 Results of chemical multi-element analysis of the raw ore

TFe	mFe	S	Cu	Pb	Zn	Mn	P	TiO ₂
28.08	21.32	0.17	0.029	0.003	0.013	0.14	0.14	0.84
K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Au*	Ag*	
0.22	0.34	10.1	3.45	3.62	29.66	0.02	0.51	

*单位为g/t。

收稿日期: 2022-03-15

基金项目: 商业性地质勘查“甘肃省瓜州县古堡泉西铁多金属矿详查”项目

作者简介: 司豪佳(1988-), 男, 高级工程师, 主要从事矿产地质调查、固体矿产勘查、矿物学研究等工作。

表2 矿样中铁的化学物相分析
Table 2 Chemical phase analysis of the ore samples

名称	磁铁矿 中铁	赤褐铁矿 中铁	菱铁矿 中铁	硫化矿 中铁	硅酸铁 中铁	总铁
含量/%	21.30	1.89	0.03	0.06	4.82	28.10
分布率/%	75.80	6.73	0.11	0.21	17.15	100.00

由表1可知，该磁铁矿的主要元素为SiO₂、Fe₂O₃、Al₂O₃等，矿石中其他元素可利用价值低。矿样化学特性研究表明，矿石TFe、mFe含量高于磁铁矿边界品位，属工业矿石，其75.8%的铁以磁铁矿形式存在，硅酸铁含量仅为17.15%，具利用价值的磁性铁含量较高。

2 矿石矿物特性

2.1 矿石的矿物成分和含量

通过显微鉴定和MLA矿物组成自动分析仪检测，古堡泉西铁矿属于蚀变辉长岩型的矿石。赋矿岩石主要是方解石绿泥石蚀变辉长岩，次为方解石阳起石蚀变辉长岩，还有个别的辉绿岩和碳酸盐化伟晶花岗岩分布其间。自形-半自形晶结构、他形晶结构、板片状-针纤维状结构、选择交代结构、交代结构、包含变晶结构、片状变晶结构、柱状变晶结构，浸染状构造、块状构造、脉状构造、条带状构造。

矿石矿物除主要有用矿物磁铁矿、赤铁矿以外，还见少量蚀变黄铁矿、钛磁铁矿及个别的钛铁矿。脉石矿物较多，主要是绿泥石、方解石、石英、阳起石、斜长石，次为角闪石、辉石等，矿石主要矿物相对含量见表3。

表3 原矿主要矿物组成及含量
Table 3 Main mineral composition and content of the raw ore

矿物名称	相对 含量/%	矿物名称	相对 含量/%	矿物名称	相对 含量/%
磁铁矿	18	绿泥石	32	角闪石	1
赤铁矿	3	方解石	16	辉石	1
黄铁矿	少量	石英	15	钾长石	少量
钛磁铁矿	少量	阳起石	10	楣石	少量
钛铁矿	微量	斜长石	3		

磁铁矿被赤铁矿轻微蚀变。磁铁矿粒度以细粒为主，即-0.074 mm 62.3%。最粗粒矿石的是粒径0.30 mm×0.30 mm左右，其他矿石中磁铁矿以细粒为主。

2.2 主要矿物工艺特征

该矿的有用矿物为磁铁矿和赤铁矿，矿石类型为蚀变辉长岩型铁矿石。除磁铁矿和赤铁矿

外，其他金属矿物极少。脉石矿物以绿泥石、阳起石、方解石、石英为主，其他矿物较少。

(1) 磁铁矿

磁铁矿多数细粒呈他形晶，而粗粒多呈自形-半自形晶（图1b），它集中分布在方解石绿泥石蚀变辉长岩中，特别是富矿，最富达65%（图1a）。在方解石阳起石蚀变辉长岩中，最高仅含15%左右。多半磁铁矿颗粒在边部都受到赤铁矿的交代，显示深红色内反射，局部见针状赤铁矿（图1d），尤其样品中不仅出现针状赤铁矿，还见板状磁铁矿，即穆磁铁矿（图1e），说明磁铁矿交代赤铁矿并保留其晶形，但此现象在矿石中极少，仅局部出现。部分磁铁矿呈条带状分布（图1c），磁铁矿的颗粒大小统计结果见表4。

从表4磁铁矿粒度统计知，-0.074 mm 颗粒含量略高，但+0.10 mm 颗粒也有一定数量。磁铁矿的粒度以-0.15+0.10 mm，-0.03+0.015 mm 两个粒级含量最多。-0.074 mm 60.3%，略高于+0.074 mm 粒级中的含量。

(2) 黄铁矿

黄铁矿在矿石中仅少量，呈他形晶粒状，粒度在0.50 mm×0.40 mm~0.20 mm×0.20 mm 之间，局部出现，且95%左右均蚀变成褐铁矿，黄铁矿呈残晶，粒径小于0.05 mm×0.03 mm。

(3) 钛磁铁矿和钛铁矿

在样品中，约出现5%左右的钛磁铁矿和少量钛铁矿，岩石为辉绿岩。钛磁铁矿多呈自形-半自形晶，其中钛铁矿呈板条状或平行或成格子状分布在磁铁矿中，但全部钛磁铁矿均在选择性交代的情况下，分别蚀变成金红石和白钛矿（图1e），即钛铁矿蚀变成金红石，磁铁矿蚀变成白钛矿。钛磁铁矿的粒径在0.15 mm×0.15 mm~0.05 mm×0.05 mm 之间。而单独的钛铁矿呈板条状，粒径小于0.22 mm×0.02 mm，全部被金红石取代。

(4) 绿泥石

绿泥石出现在方解石绿泥石蚀变辉长岩中（图2a），呈片状，应为叶绿泥石，镜下呈绿色，具淡绿-浅黄多色性，正低突起，干涉色一级灰，部分具靛蓝、锈褐和丁香紫的异常干涉色，平行消光。它常与方解石以及部分石英共生，部分被铁染成褐色，在此岩石中磁铁矿含量较多。

(5) 方解石

方解石在矿石中普遍存在，薄片无色透明，菱形解理、闪突起显著，具干涉色高级白、

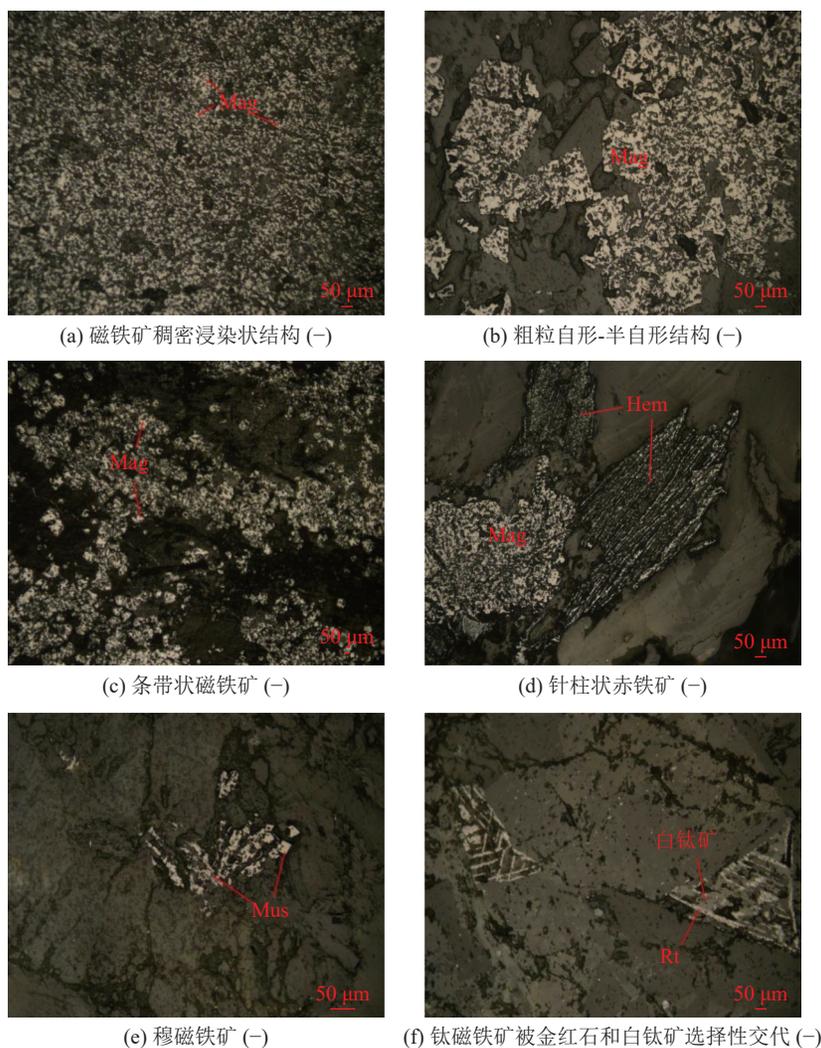


图 1 磁铁矿的嵌部结构

Fig.1 Embedded structure of magnetite

表 4 矿样中磁铁矿粒度测定结果

Table 4 Test results of magnetite particle size of the samples

粒级/mm	颗粒数	粒数比/%	面积/mm ²	分布率/%
+0.15	25	0.3	0.637 5	11.3
-0.15+0.10	83	1.0	1.245	22.0
-0.10+0.074	49	0.6	0.362 6	6.4
-0.074+0.054	96	1.1	0.383 616	6.8
-0.054+0.03	596	7.0	0.965 52	17.0
-0.03+0.015	3 086	36.5	1.388 7	24.5
-0.015	4 526	53.5	0.678 9	12.0
总计	8 461	100.0	5.661 836	100.0

一轴晶负光性等特征。矿物中常包裹绿泥石、磁铁矿、阳起石、石英，并交代长石矿物。该矿物多为不规则的集合体，未见单矿物。

(6) 阳起石

在矿石中阳起石呈长柱状（图 2b），针柱状和纤柱状，镜下为绿色，具浅绿~浅黄绿多色

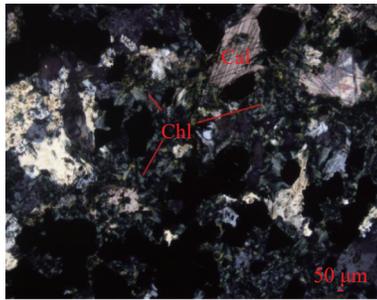
性，正中~高突起，干涉色一级顶至二级中，斜消光，部分晶体呈放射状集合体。它与方解石、磁铁矿及少量石英共生，局部呈条带状出现。

(7) 石英

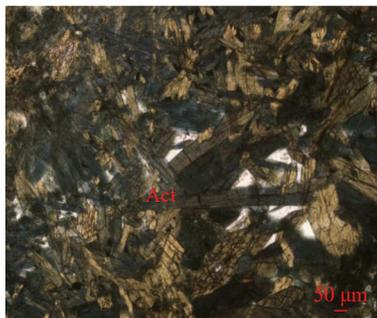
石英在各种岩石中均有少量出现，多呈不规则状的他形晶，粒径大小不一，一般小于 0.80 mm×0.50 mm。矿物内多包裹绿泥石、阳起石、磁铁矿等矿物。

(8) 长石

矿石中所见长石有斜长和钾长石，斜长石出现在辉绿岩（图 3a）和碳酸盐化伟晶花岗岩中（图 3b），以中长石和倍长石为主，呈板状和他形粒状，少有绢云母化，而钾长石只在碳酸盐化伟晶花岗岩中见到，呈他形晶，镜下无色，表面多蚀变浑浊，常与石英交生，形成文象结构，其他岩石中基本未见此矿物。



(a) 方解石与绿泥石蚀变(+)



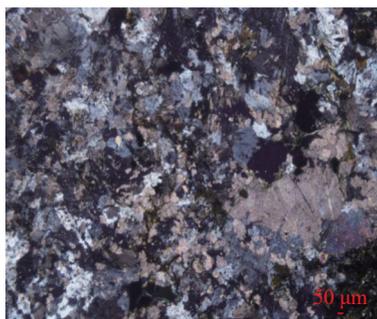
(b) 方解石阳起石蚀变(-)

图2 绿泥石嵌布结构

Fig.2 Embedded structure of chlorite



(a) 辉绿岩



(b) 碳酸盐化伟晶花岗岩

图3 长石嵌布结构

Fig.3 (Left) Diorite(+); (Right) Carbonate pegmatite granite (+)

2.3 选矿实验

据矿石工艺矿物学研究结果表明，该磁铁矿矿石矿物组成比较简单，主要有用矿物是磁铁矿，磁铁矿的选矿工艺比较成熟，即采用单一磁

选法，但是由于该磁铁矿粒度较细，要提高铁精矿品位，需要细磨，使磁铁矿单体解离。

对该矿石进行实验室选矿流程实验，以判定工艺矿物学研究成果及矿石的分选性能。经详细选矿方案、工艺参数等条件实验研究，确定该矿石最终选矿实验流程见图4，结果见表5。

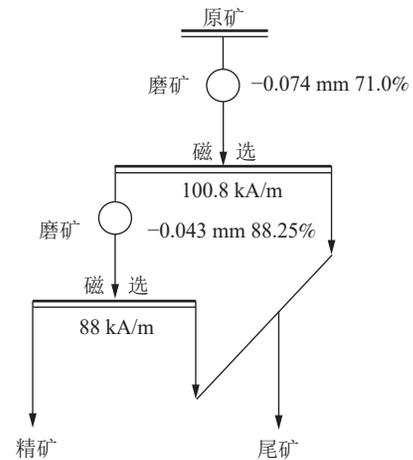


图4 选矿实验流程

Fig.4 Beneficiation test flow of the samples

表5 全流程选矿实验结果

Table 5 Beneficiation test results with the full flow of the samples

产品名称	产率/%	TFe品位/%	回收率/%	
			TFe	mFe
精矿	30.19	65.1	69.96	92.18
尾矿	69.81	12.09	30.04	7.82
原矿	100.00	28.09	100.00	100.00

通过详细的磁选条件实验，采用原矿-磨矿-弱磁场粗选-粗精矿再磨-弱磁场精选的工艺流程，综合实验结果可以看出，铁精矿 TFe 品位 65.10%，TFe 回收率 69.96%，mFe 回收率 92.18%，产品质量较好，流程合理。尾矿中铁主要为赤铁矿，少量磁铁矿、黄铁矿、钛磁铁矿、钛铁矿。

3 结论

(1) 该磁铁矿属于蚀变辉长岩型铁矿石，赋矿岩石主要是方解石绿泥石蚀变辉长岩，次为方解石阳起石蚀变辉长岩。

(2) 矿石中主要有用矿物磁铁矿、赤铁矿，少量蚀变黄铁矿、钛磁铁矿，磁铁矿粒度以细粒为主；脉石矿物主要为绿泥石、方解石、石英、阳起石、斜长石，次为角闪石、辉石等。

(3) 通过详细的磁选条件实验，采用原矿-磨

矿-弱磁场粗选-粗精矿再磨-弱磁场精选的工艺流程, 最终获得的选矿指标为: 原矿 TFe 品位 28.08% 时, 铁精矿 TFe 品位 65.10%, TFe 回收率 69.96%, mFe 回收率 92.18%。当原矿 TFe 品位降低到 25.1% 时, 铁精矿 TFe 品位 65.20%, TFe 回收率 66.63%, mFe 回收率 91.03%。

(4) 甘肃瓜州县古堡泉西铁矿石属于易选矿石, 但由于磁铁矿嵌布粒度细, 磨矿成本较高。

参考文献:

- [1] 朱骏士. 中国钒钛磁铁矿选矿 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1996.
- ZHU J S. Vanadium titanium magnetite dressing in China [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1996.
- [2] 印万忠, 丁亚卓. 铁矿选矿新技术与新设备 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2008.
- YIN W Z, DING Y Z. New technology and equipment for iron ore beneficiation [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2008.
- [3] 王晓慧, 张丽军, 梁友伟. 甘肃肃北某铁矿可选性试验[J]. *矿产综合利用*, 2016(3):58-62.
- WANG X H, ZHANG L J, LIANG Y W. Experimental study on an iron ore in Subei Gansu[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2016(3):58-62.
- [4] 韩继康, 梁冰, 李国峰, 等. 某含磷铁矿的可选性试验研究[J]. *矿产综合利用*, 2020(2):49-54.
- HAN J K, LIANG B, LI G F, et al. Preparability test of a phosphorus-bearing iron ore[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2020(2):49-54.
- [5] 易小祥, 刘阅兵, 母传伟, 等. 迁西县高家店磁铁矿选矿工艺研究[J]. *矿产综合利用*, 2021(1):57-60.
- YI X X, LIU Y B, MU C W, et al. Research on beneficiation process for Qianxi Gaojiadian magnetite ore[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2021(1):57-60.
- [6] 陈超, 张裕书, 李潇雨, 等. 钛磁铁矿选矿技术研究进展[J]. *矿产综合利用*, 2021(3):99-105.
- CHEN C, ZHANG YS, LI X Y, et al. Research progress in titanium-magnetite beneficiation technology[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2021(3):99-105.
- [7] 李磊, 金建文, 肖仪武, 等. 影响攀西某磁铁矿精矿品质的矿物学因素分析[J]. *矿产综合利用*, 2021(4):193-196.
- LI L, JIN J W, XIAO Y W, et al. Researches of mineralogical factors affecting the quality of a magnetite concentrate in panxi area[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2021(4):193-196.
- [8] 陈福林, 杨晓军, 杨道广, 等. 甘肃某低品位钒钛磁铁矿工艺矿物学研究[J]. *矿产综合利用*, 2020, 41(6).
- CHEN F L, YANG X J, YANG D G, et al. Research on process mineralogy for a lowgrade vanadium titano-magnetite in Gansu province[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2020, 41(6).
- [9] 陈百磊. 甘肃省瓜州县古堡泉西铜多金属矿(铁铜矿)普查报告[R]. 2015.
- CHEN B L. A Survey Report Of The Western Gubaoquan Copper Polymetallic Deposit (Iron-Copper Deposit) in Guazhou County, Gansu Province [R]. 2015.

Application of Process Minerals Research on a Magnetite Ore in Guazhou County, Gansu Province

SI Haojia, CHEN Bailei, LIU Jiacheng, LI Wenxuan
(Geological Survey of Gansu Province, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract: The type of magnetite ore belongs to the altered gabbro type iron mine in Guazhou County, Gansu Province. The chemical and mineral properties were studied by means of chemical multiple analysis, X-ray fluorescence spectrum analysis, phase analysis, microscopic identification and particle size determination and the mineral processing test was carried out. Its mineral composition and content, mineral distribution characteristics and occurrence state of iron were found out through systematic process mineralogy research. The study of ore composition shows that the magnetite ore is mainly calcite chlorite altered gabbro, followed by calcite actinolite altered gabbro. The main useful minerals in the ore are magnetite and hematite, a small amount of altered pyrite and titanomagnetite, and the particle size of magnetite is mainly fine. Gangue minerals are widespread and complex, mainly chlorite, calcite, quartz, actinolite, plagioclase, and secondly amphibole, pyroxene, etc. In this paper, mineral processing tests are carried out to confirm the research results of process mineralogy, which provides an important reference for the evaluation of iron mine and the comprehensive development and utilization of resources in this area.

Keywords: Process mineralogy; Magnetite; Occurrence state